

免耕播种机运动的线性模型的建立与分析

侯志刚 宋建农

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为了测试免耕播种机的运动特性对播种质量的影响,从动力学振动角度建立了免耕播种机运动的线性模型。利用该模型,采用 MATLAB 软件对 Great Plains 公司的 1205NT 型免耕播种机进行分析研究。结果表明:在田间作业条件下,随着前进速度的增大免耕播种机的谐振振幅从 -27 dB 增大到 -14.8 dB,谐振频率从 14.6 Hz 上升到 23.3 Hz。播种过程中的振动引起了种子覆土深度的相应波动,从而影响免耕播种机的播种性能。所建立的线性模型基本可靠,较真实地反映了免耕播种机的运动特性。

关键词 免耕播种机;运动特性;线性模型;MATLAB

中图分类号 S223.2

文章编号 1007-4333(2004)06-0031-03

文献标识码 A

Linear-model analysis of no-tilling seeding motion

Hou Zhigang, Song Jiannong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract The paper introduces a linear model of no-tilling seeding movement, in order to describe the relation of the movement character of no-tilling seeding to sowing quality. Analyses of the 1205NT no-tiller with MATLAB showed that with increasing working speed of no-tilling seeding, the resonance amplitude increases from -27 dB to -14.8 dB, and resonance frequency enhances from 14.6 Hz to 23.3 Hz. Vibration affects seed depth in the course of seeding and restricts sowing performance of no-tilling seeding. A conclusion is drawn that the model is suitable, because it can truly reflect the movement of no-tilling seeding.

Key words no-till seeding; movement character; linear mode; MATLAB

近年来,免耕播种机在国内得到了广泛的推广使用^[1],相关的试验研究也很多,但很少从动力学振动角度去考虑免耕播种机的运动特性对播种质量的影响。笔者对 1205NT 型免耕播种机进行了试验研究,分析了免耕播种机的振动性能与机具前进速度的关系,以及振动性能对免耕播种机主要作业质量指标种子覆土深度的影响^[2]。

1 模型的建立

假设免耕播种机的主要部分是装有种子箱和轮子的机组,则系统中广义坐标数 n 根据该主要部分相对拖拉机的自由度数确定。免耕播种机的辅助部分为工作部件(开沟器单组)。一般情况下,当免耕播种机有 m 个开沟器单组时,其辅助部分的广义坐

标数为 $\sum_{i=1}^m n_i$,其中 n_i 为每个开沟器组相对免耕播种机主要部分的自由度数^[3]。为了进一步简化系统,可将辅助部分看作单质量系统,其质量集中在该部分的质心上。

免耕播种机的运动可以看作由纵向和侧向 2 个互不联系的运动组成。其纵向运动的特性决定了开沟器组在垂直平面内的振动,这对农作物播种具有积极的影响。根据假设,可以绘制出具有 2 个广义坐标的免耕播种机的数学模型,分别说明免耕播种机主要部分相对拖拉机的纵向摆动角 $\varphi_p(t)$ 和开沟器组相对播种机架的纵向摆动角 $\varphi_c(t)$ 。把作用在免耕播种机轮子上的地面不平度 $z(t)$ 看作为输入变量,引入农业机械运动的线性数学模型的主

收稿日期:2004-04-19

作者简介:侯志刚,硕士研究生;宋建农,教授,博士生导师,主要从事农业装备工程研究。

要方程式^[4]:

$$\sum_{j,m=1}^r (a_{jm} \ddot{q}_m + b_{jm} \dot{q}_m + c_{jm} q_m) = \sum_{i=1}^n (d_{mi} \dot{f}_i + m_{mi} f_i) \quad (1)$$

式中: a_{jm} , b_{jm} , c_{jm} , b_{mi} 和 m_{mi} 为常数; q_m 和 \dot{q}_m 为广义坐标及其速度对平衡值的偏差; f_i 和 \dot{f}_i 为外部作用的增量及其外部作用变化的增量, r 和 n 分别为广义坐标数和输入作用数。在本模型的研究中有 2 个广义坐标和 1 个输入变量, 故 $r = 2$, $n = 1$, 令 $q_1 = p$, $q_2 = c$, 由式(1)得

$$a_{11} \ddot{p} + b_{11} \dot{p} + c_{11} p + a_{12} \ddot{c} + b_{12} \dot{c} + c_{12} c = d_{11} \dot{z} + m_{11} z \quad (2)$$

$$a_{21} \ddot{p} + b_{21} \dot{p} + c_{21} p + a_{22} \ddot{c} + b_{22} \dot{c} + c_{22} c = d_{21} \dot{z} + m_{21} z \quad (3)$$

用式(2)中的变量系数除以 c_{11} , 式(3)中的变量系数除以 c_{22} , 得到免耕播种机在垂直平面内微量摆动的微分方程式:

$$\left. \begin{aligned} T_{11}^2 \ddot{p} + T_{11} \dot{p} + p + T_{12}^2 \ddot{c} + T_{12} \dot{c} + c + k_{12} c &= \xi_{11} \dot{z} + k_{11} z \\ T_{22}^2 \ddot{c} + T_{22} \dot{c} + c + T_{21}^2 \ddot{p} + T_{21} \dot{p} + p + k_{21} p &= \xi_{21} \dot{z} + k_{21} z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

表 1 1205NT 型免耕播种机不同前进速度 v 下传递函数 $W_c(s)$ 的系数

Table 1 Coefficient of transfer function $W_c(s)$ at different speeds

开沟器组	$v/(m \cdot s^{-1})$	$k/((g \cdot mm^{-1}))$	/s	T_1/s	T_2/s	
标准	1.55	0.035	0.12	0.09	0.06	0.67
	2.65	0.050	0.07	0.05	0.05	0.50
	3.85	0.067	0.02	0.02	0.04	0.25
改进	1.55	0.098	0.28	0.17	0.09	0.94
	2.65	0.128	0.14	0.12	0.07	0.86
	3.85	0.145	0.09	0.07	0.05	0.70

注: 阻尼因数, $\xi = T_1/(2 T_2)$ 。

为了获得系统的频率响应, 免耕播种机纵向垂直平面内振动的线性模型的传递函数 $W_c(s)$ 表示为 $W_c(j\omega)$, 则系统的频率响应幅值、相位和频率可采用奈奎斯特图和伯德图(图 1)表示^[5]。

频率响应的主要性能指标有谐振振幅 M_r 和谐振频率 ω_r 等。其中谐振振幅越大, 阶跃响应的输出超调量也越大, 因此可以用谐振振幅表征系统的相对稳定性; 谐振频率反映了系统响应的速度, 谐振频

率越大, 时间响应越快, 因此系统响应的上升时间与谐振频率成反比, 而与系统的阻尼比成正比^[6]。根据系统的频率响应和图 1 对系统进行性能分析: 随着播种前进速度的增大谐振振幅 M_r 从 -27 dB 增大到 -14.8 dB, 谐振频率 ω_r 从 14.6 Hz 上升到 23.3 Hz, 系统响应的上升时间减小, 阻尼比随之减小。由表 1 可见阻尼系数从 0.67 减到 0.25, 即减少 1 倍多, 因此免耕播种机的振动性提高了。

为了求得免耕播种机微量摆动模型的传递函数, 将式(4)化为拉普拉斯变量表达式:

$$\left. \begin{aligned} (T_{11}^2 s^2 + T_{11} s + 1) p(s) + (T_{12}^2 s^2 + T_{12} s + k_{12}) c(s) &= (\xi_{11} s + k_{11}) z(s) \\ (T_{22}^2 s^2 + T_{22} s + 1) c(s) + (T_{21}^2 s^2 + T_{21} s + k_{21}) p(s) &= (\xi_{21} s + k_{21}) z(s) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

解式(5)得: $p(s) = W_p(s) z(s)$, $c(s) = W_c(s) z(s)$, 其中 $W_p(s)$ 和 $W_c(s)$ 为传递函数:

$$W_p(s) = \frac{(\xi_{11} s + k_{11})(T_{22}^2 s^2 + T_{22} s + 1) - (\xi_{21} s + k_{21})(T_{12}^2 s^2 + T_{12} s + k_{12})}{(T_{11}^2 s^2 + T_{11} s + 1)(T_{22}^2 s^2 + T_{22} s + 1) - (T_{12}^2 s^2 + T_{12} s + k_{12})(T_{21}^2 s^2 + T_{21} s + k_{21})} \quad (6)$$

$$W_c(s) = \frac{(\xi_{21} s + k_{21})(T_{11}^2 s^2 + T_{11} s + 1) - (\xi_{11} s + k_{11})(T_{21}^2 s^2 + T_{21} s + k_{21})}{(T_{11}^2 s^2 + T_{11} s + 1)(T_{22}^2 s^2 + T_{22} s + 1) - (T_{12}^2 s^2 + T_{12} s + k_{12})(T_{21}^2 s^2 + T_{21} s + k_{21})} \quad (7)$$

2 模型分析

试验表明, 式(7)中的传递函数 $W_c(s)$ 简化后对实际计算已足够精确, $W_c(s) = k/(s^2 + T_1 s + 1)$ 。表 1 列出了 1205NT 型免耕播种机不同前进速度下传递函数的系数。

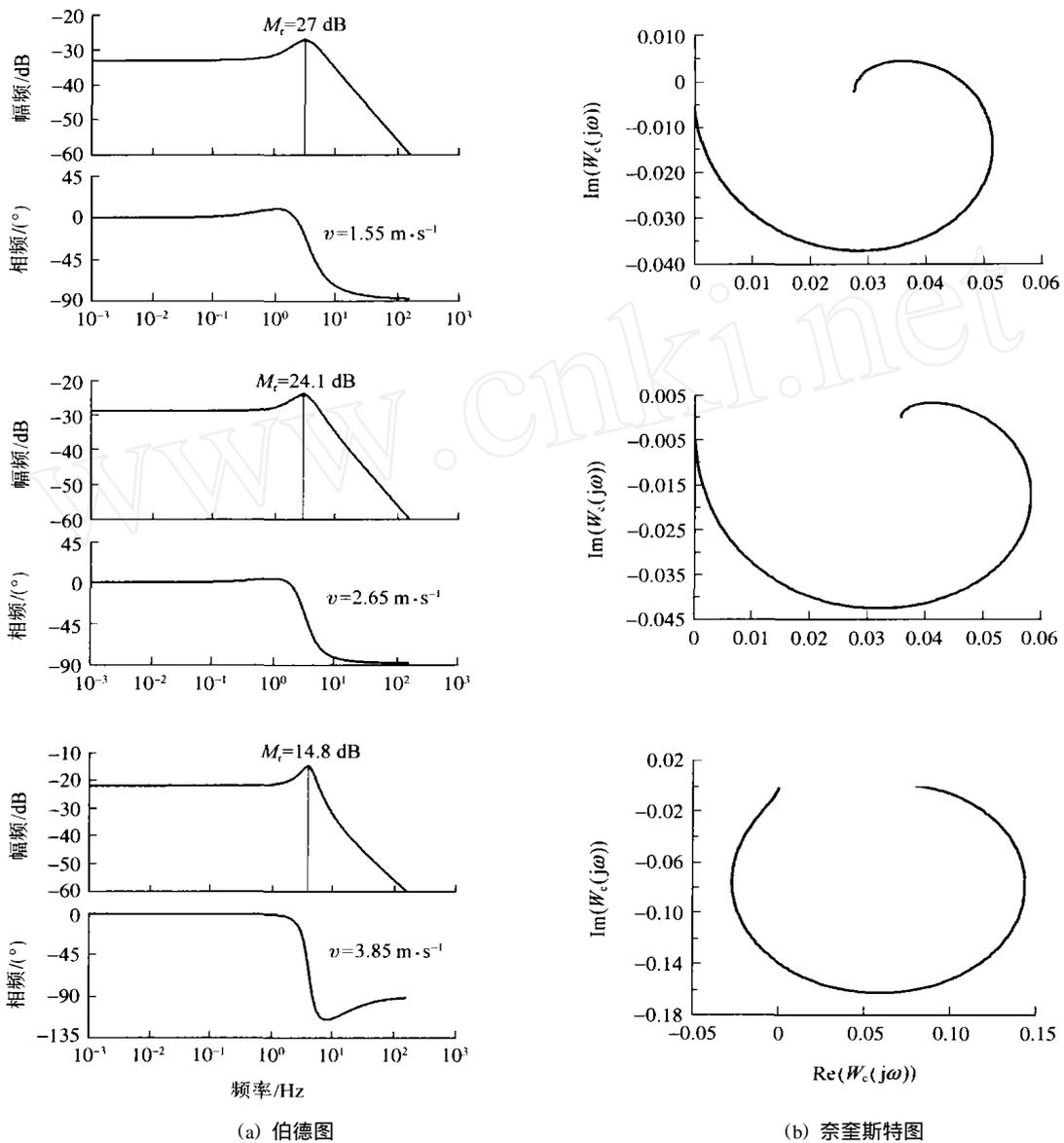


图 1 不同前进速度 v 下免耕播种机频率响应的伯德图和奈奎斯特图

Fig. 1 Bode and nyquist of no-tilling seeding frequency response at different speeds

播种过程中的振动也引起免耕播种机主要作业质量指标,即种子覆土深度的相应波动,从而影响了免耕播种机的播种性能。为了改善免耕播种机的振动性能,笔者将开沟器的悬挂机构改为六连杆机构,并在活动和支承环节之间加上弹簧,成为弹性连结。改进后免耕播种机纵向垂直平面内振动的线性模型的传递函数的系数值见表 1。在前进速度相同的条件下,改进后系统的阻尼系数均比原来大,开沟器振动特性有所改善,尤其在高速作业时,改进的悬挂机架在一定程度上改善了种子覆土深度的均匀性。

3 结 论

1) 从动力学振动角度出发,建立了免耕播种机运动的线性模型。试验研究结果表明,该模型与实际结论相符合,较真实的反映了免耕播种机的运动特性,因此比较可靠。

2) 针对 1205NT 型免耕播种机的试验结果表明,免耕播种机的运动特性对播种性能有一定影响。

(下转第 43 页)

- [5] 王慧中, 黄大年, 鲁瑞芳, 等. 转 *mtlD/gutD* 双价基因水稻的耐盐性[J]. 科学通报, 2000, 45(7): 724~728
- [6] 于志华, 陈敏勇, 顾红雅, 等. 抗除草剂旱稻转基因植株的获得[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1996, 32(4): 499~503
- [7] 腊红桂, 王化琪. 抗除草剂基因导入旱稻 (*Oryza sativa*) 栽培品种[J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(3): 227~232
- [8] 郑宏红, 何锶洁, 戴顺洪, 等. 提高水稻基因枪转化效率的研究[J]. 生物工程学报, 1996, 12(增): 111~115
- [9] 郑宏红, 戴顺洪, 何锶洁, 等. 籼稻基因枪转化的研究[J]. 遗传学报, 1996, 23(4): 286~292
- [10] 李银心, 常凤启, 杜立群, 等. 转 *BADH* 基因豆瓣菜的耐盐性[J]. 植物学报, 2000, 42(5): 480~484
- [11] Haro R, Garcíadeblas B, Rodríguez-Navarro A. A novel P-type ATPase from yeast involved in sodium transport [J]. FEBS Lett, 1991, 291: 189~191
- [12] Wieland J, Nitsche A M, Strayle J, et al. The PMR2 gene cluster encodes functionally distinct isoforms of a putative Na⁺ pump in the yeast plasma membrane[J]. EMBO J, 1995, 14: 3870~3882
- [13] Ferrando A, Kron S J, Rios G, et al. Regulation of cation transport in *Saccharomyces cerevisiae* by the salt tolerance gene HAL3 [J]. Mol Cell Biol, 1995, 15: 5470~5481
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2000. 261~263
- [15] Kasuga M, Liu Qiang, Miura Setsuko, et al. Improving plant drought, salt and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor [J]. Nature Biotechnol, 1999, 17: 287~291

(上接第33页)

参 考 文 献

- [1] 王长生, 王遵义, 苏成贵, 等. 保护性耕作技术的发展现状[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 167~169
- [2] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. 36~58
- [3] 胡宗武. 工程振动分析基础[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1985. 92~104
- [4] A 卢里耶, A A 格罗姆勃切夫斯基. 农业机械的设计和计算[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1983. 41~230
- [5] 杨叔子, 杨克冲. 机械工程控制基础[M]. 第4版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002. 111~132
- [6] 孙亮. MATLAB 语言与控制系统仿真[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2001. 119~136